

Method and device for the optimum use of at least one variable and hard to master power source

Patent number: EP0046530

Publication date: 1982-03-03

Inventor: OFFFRINGA LODEWIJK JACOB JAN; DE ZEEUW
WILLEM JAN

Applicant: STICHTING ENERGIE (NL)

Classification:


- **international:** H02J3/38; H02P9/42; F03D9/00

- **european:** F03D9/00; H02J3/38; H02P9/42

Application number: EP19810106185 19810807

Priority number(s): NL19800004597 19800814

Also published as:


 NL8004597 (A)
 GR75309 (A)
 ES8302374 (A)
 PT73520 (B)

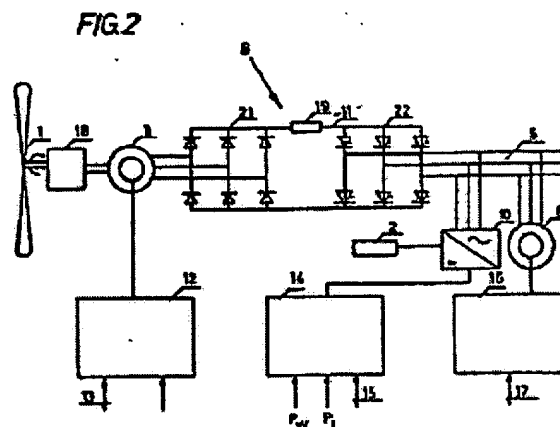
Cited documents:

GB2006998
DE1281027

Report a data error here

Abstract of EP0046530

A method and an installation are described for the optimum use of at least one variable power source which is difficult to control. In known power systems with a power source which is difficult to control, it is normal to couple to it one or more synchronous A.C. generators which can be connected with a rectifier and an inverter to an autonomous A.C. network. In this arrangement, the A.C. network is connected to a second synchronous A.C. generator which is mechanically connected, such that it can be disconnected therefrom, to a controllable auxiliary machine, such as e.g. a diesel generating set. To keep the frequency of the network constant if too much power is offered or, above all, if the power offered drops, such an amount of power is supplied from the autonomous A.C. network (5) to an additional usable load (2) that the frequency of the network (5) remains constant. The excess power to be diverted can be used, for example, for the preparation of hot water or for the electrolysis of water, combined with the use of fuel cells, or for battery charging or for pumping water to increased heights.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

②① Anmeldenummer: 81106185.2

Int. Cl.³: H 02 J 3/38
H 02 P 9/42, F 03 D 9/00

②② Anmeldetag: 07.08.81

③ Priorität: 14.08.80 NL · 8004597

④ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.03.82 Patentblatt 82/9

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT NL

**(71) Anmelder: Stichting Energieonderzoek Centrum
Nederland
Scheveningseweg 112
NL-2584 AE 's-Gravenhage(NL)**

72 Erfinder: Offringa, Lodewijk Jacob Jan
Maalækker 42
Eindhoven(NL)

72 Erfinder: de Zeeuw, Willem Jan
Beukenlaan 12
Nunen(NL)

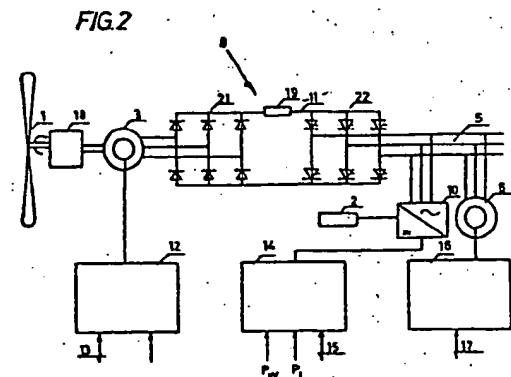
74 Vertreter: Bauer, Hubert
Lothringer Strasse 53
D-5100 Aachen(DE)

(S4) Verfahren und Vorrichtung zum optimalen Benutzen mindestens einer variablen, schwer beherrschbaren Energiequelle.

(57) Es wird ein Verfahren und eine Anlage zur optimalen Benutzung mindestens einer variablen, schwer beherrschbaren Energiequelle beschrieben.

Bei bekannten Energiesystemen mit einer schwer beherrschbaren Energiequelle ist es üblich, mit dieser einen oder mehrere synchrone Wechselstromgeneratoren zu koppeln, die mit einem Gleichrichter und einem Wechselrichter an ein autonomes Wechselstromnetz anschließbar sind. Das Wechselstromnetz ist dabei mit einem zweiten synchronen Wechselstromgenerator verbunden, der mechanisch mit einer beherrschbaren Hilfsmaschine, wie z.B. ein Diesellagregat, entkuppelbar verbunden ist.

Um die Frequenz des Netzes bei einem Leistungsüberangebot oder aber auch bei abgefallenem Leistungsangebot konstant zu halten, wird einem zusätzlich nutzbaren Verbraucher (2) eine solche Energiemenge aus dem autonomen Wechselstromnetz (5) zugeführt, daß die Frequenz des Netzes (5) konstant bleibt. Die abzuleitende überschüssige Energie kann beispielsweise zur Heißwasserbereitung oder zur Elektrolyse von Wasser, kombiniert mit der Benutzung von Brennstoffzellen, oder für das Aufladen von Batterien oder das Hochpumpen von Wasser verwendet werden.



Verfahren und Vorrichtung zum optimalen Benutzen mindestens einer variablen, schwer beherrschbaren Energiequelle

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur optimalen Nutzung mindestens einer schwer beherrschbaren Energiequelle, wobei ein Energiesystem verwendet wird, das im wesentlichen umfaßt: mindestens eine variable Energie-
5 quelle, mindestens einen damit gekuppelten synchronen Wechselstromgenerator mit einem nachgeschalteten Gleichrichter, einen Wechselrichter und ein daran angeschlossenes autonomes Wechselstromnetz, das elektrisch fest
10 verbunden ist mit einem zweiten synchronen Wechselstromgenerator, welcher mechanisch mit einer beherrschbaren Hilfsmaschine kuppelbar ist.

Das obengenannte Verfahren läßt sich im allgemeinen problemlos durchführen, wenn ein großes Wechselstrom-
15 netz verfügbar ist, das die durch die variablen Energiequellen freigesetzte Energie auffangen kann. Die Anpassung an die schwankende elektrische Leistung und die Kompensation der eventuell geforderten reaktiven Leistung werden in diesem Fall selbstverständlich der konventionellen
20 elektrischen Zentrale im Netz überlassen. Die Situation ist jedoch ganz anders, wenn ein derartiges großes Netz nicht verfügbar ist und mehr noch, wenn insbesondere ein kleines "autonomes Netz" im wesentlichen durch Windenergie zu versorgen ist. Im Sinne der Anmeldung bedeutet "auto-
25 nomes Netz" ein Netz, an dem keine untereinander gekuppelten oder kuppelbaren großen thermischen Zentralen, Kern- oder Wasserkraftzentralen angeschlossen sind, sondern das seine Energie nur von einer oder mehreren variablen Energiequellen erhält.

Wenn diese Quelle zu wenig Energie liefert, wird die Energie durch eine Hilfsmaschine (z.B. durch Dieselaggregate) geliefert.

- 5 Ein derartiges autonomes, mit Windenergie betriebenes Netz will man vorzugsweise ganz mit dieser Energie versorgen. Wegen des Preises von fossilen Brennstoffen und insbesondere des von Dieselöl wünscht man, so
- 10 wenig wie möglich davon zu verbrauchen und statt dessen die durch den Wind oder andere variable Energiequellen gelieferte Leistung auf optimale Weise zu benutzen. Das Problem der hohen Brennstoffpreise und das Fehlen eines großen gekoppelten Wechselstromnetzes tritt insbesondere
- 15 in entlegenen Gegenden auf, für die es nicht wirtschaftlich ist, lange Versorgungsleitungen zu verlegen und Kuppelstationen für ein elektrisches Netz zu bauen.

- Ein "autonomes Netz" ist z.B. das Bordnetz eines Schiffes.
- 20 In der niederländischen Patentanmeldung 6708733 wird dafür eine Stromzufuhreinrichtung betrieben, die aus einem durch die Schraubachse angetriebenen synchronen Generator besteht, hinter dem ein nicht gesteuerter Gleichrichter geschaltet ist, wobei für die Versorgung des
- 25 Bordnetzes bei ausgeschaltetem Achsgenerator wenigstens eine durch eine Hilfsmaschine angetriebene synchrone Maschine als Bordgenerator verwendet wird. Hinter dem Gleichrichter ist ein durch das Netz gesteuerter, das Bordnetz speisender Stromumsetzer geschaltet. Die als
- 30 Bordnetzgenerator für den ausgeschalteten Achsgenerator arbeitende synchrone Maschine ist auch während des Betriebes des Achsgenerators elektrisch fest mit dem Ausgang des Stromumsetzers und mit dem Bordnetz verbunden.

Diese letztgenannte synchrone Maschine hat neben der Funktion zur Speisung des Bordnetzes gleichzeitig die Funktion einer Kommutatoreinrichtung für den Stromumsetzer.

5

Die Schraubachse gibt für diese Einrichtung nur die Leistung ab, die unabhängig von der Drehzahl der Achse für die Speisung des autonomen Netzes benötigt wird. Die Regelung der abzugebenden Leistung und damit auch
10 der Frequenz geschieht durch bekannte Weise durch Regelung der Feldstärke des Achsgenerators.

Bei Benutzung einer Windturbine als Energiequelle wird man jedoch diese unabhängig von der Abnahme

15

durch das autonome Netz immer so optimal wie möglich benutzen. Außerdem sind die Schwankungen in der Windenergie manchmal so schnell, daß eine Regelung mittels der Feldstärke des Generators zu langsam ist.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Nutzung von Energie vorzuschlagen, welche durch mindestens eine variable, schwer beherrschbare Energiequelle, wie eine Windturbine, erzeugt wird, wobei alle
zugeführte Energie dauernd optimal genutzt und die

25

Frequenz des Netzes selbst bei rasch wechselnden Schwankungen in der zugeführten Energie und/oder bei relativ großen Veränderungen in der Abnahme durch das Netz konstant gehalten werden soll. Mit der in der niederländischen Patentanmeldung 6708733 beschriebenen Regelung

30

ist das nicht möglich.

- Die kombinierte Aufgabe einer dauernden optimalen Nutzung der zugeführten Energie und der schnellen Anpassung an deren Schwankungen wird durch die Erfindung auf einfache Weise gelöst, wenn aus dem Energiesystem neben dem autonomen Netz in einer derartigen Menge Energie eingespeist werden kann, daß die Frequenz des Netzes gleich bleibt. Die eingespeiste Energie wird dabei genutzt.
- 10 Die Erfindung bezieht sich auch auf ein System mit einem autonomen Netz, im wesentlichen bestehend aus einem ersten synchronen Generator, dem ein Gleichrichter nachgeschaltet ist, gekuppelt mit einem Wechselrichter, der das Netz speisen kann, und wobei ein zweiter synchroner
- 15 Generator fest mit dem Netz verbunden ist und mechanisch entkuppelbar mit einer leicht beherrschbaren Hilfsmaschine. Nach der Erfindung ist das Energiesystem mit Mitteln versehen, um die Netzfrequenz konstant zu halten. Diese Mittel bestehen aus einem zusätzlichen, nützlich
- 20 zu verwendenden elektrischen Verbraucher, welcher mittels einer Regeleinheit elektrisch mit dem System verbunden ist.
- Es ist selbstverständlich, daß man die zugeführte Windenergie immer optimal zu nutzen wünscht, unabhängig von der Abnahme vom autonomen Netz. Fortwährende schnelle Schwankungen in der Windgeschwindigkeit sind jedoch die Ursache dafür, daß das Energieangebot auch sehr schnell schwankt. Um trotz dieser schnellen Schwankungen die
- 25 Frequenz des autonomen Netzes konstant zu halten, ist eine schnelle Regelmöglichkeit notwendig.
- 30

Es sei angenommen, daß die Windturbine gerade genügend Energie für das Netz liefert. Die Hilfsmaschine ist in diesem Fall entkuppelt, aber der zweite Generator dreht, liefert Blindenergie und bestimmt die Spannungsform

- 5 (sinusförmig) und bleibt spannungserregend für den Wechselrichter, der durch den Gleichrichter hinter dem Windgenerator über eine Drosselspule mit Gleichstrom gespeist wird. Wenn die Windenergie zunimmt oder die Abnahme durch das Netz sich verringert, wird der zweite
- 10 Generator sich beschleunigt drehen und demzufolge wird die Netzfrequenz zunehmen. Das wird nun ausgeglichen, indem das Überangebot in einer anderen nützlichen Verwendung als durch das Netz abgeleitet wird. Insbesondere bei sehr kurzen Stößen eines Überangebots an Energie wirkt
- 15 die Veränderung des Blattwinkels der Windturbine oder eine Veränderung der Feldstärkeregelung des ersten Generators zu langsam; außerdem wird bei derartigen Eingriffen die angebotene Energie nicht mehr optimal genutzt.

20

Es kommt für die Erfindung an sich nicht darauf an, wo man die nützlich zu verwendende Energie aus dem System abnimmt. Die zusätzlich nutzbare Belastung kann vom autonomen Netz abgenommen werden. Eine andere Möglichkeit ist, Gleichstrom zwischen Gleichrichter und Wechsel-

25 richter abzunehmen. Wieder eine andere denkbare Stelle für die zusätzliche nutzbare Belastung ist vor dem Gleichrichter hinter dem ersten Generator.

- 30 Die Erfindung stellt sich ausdrücklich die Aufgabe, zum Stabilisieren des elektrischen Systems bei großem

Energieangebot das Überangebot an Energie abzuleiten und nützlich zu verwenden. Dabei ist z.B. an eine Heißwasserbereitung zu denken oder an eine Speicherung dieser Energie, so daß sie im Falle eines ungenügenden Angebots an Windenergie wieder verwendet werden kann.

- 5 Es besteht z.B. als Verwendungsmöglichkeit die Elektrolyse von Wasser, wobei der gebildete Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe von Brennstoffzellen wieder elektrische Energie liefern können. Außerdem sind auch die Speicherung in Batterien oder das Hochpumpen von
- 10 Wasser und die Nutzung der potentiellen Wasserenergie denkbar.

- Wenn die Energie aus dem Wechselstromteil des Systems abgenommen wird, wird ein regelbarer Gleichrichter
- 15 benutzt. Die Regelbarkeit ist notwendig, um die Netzfrequenz des autonomen Netzes konstant zu halten.

- In vielen Fällen wird man als variable Energiequelle mehr als eine Windturbine verwenden. Die Eigenschaft
- 20 von mehreren Windturbinen ist diese, daß, wenn der Blattstand soviel wie möglich auf eine maximale Energielieferung abgestellt wird, die Turbinen nicht selbstanlaufend sind. Ein dieser Beschreibung zugefügter Anhang über "Turbineneigenschaften", mit zugehöriger
- 25 Fig. 3, gibt weitere Erläuterungen.

- Eine bevorzugte Ausführungsform des neuen Energiesystems verwendet als Energiequelle eine oder mehrere Windturbine/n, welche gekuppelt ist/sind mit elektrischen synchronen
- 30 Generatoren mit Mitteln, um diese durch Drehstromspeisung zwischen den mit den beherrschbaren Energiequellen

gekuppelten zweiten synchronen Generatoren zu starten. Dabei werden die ersten synchronen Generatoren z.B. mit einer zusätzlichen Feldregelung versehen. Die Windturbinen werden in diesem Fall aus dem Stillstand wegen Windstille oder Schutz gegen Sturm mittels der elektrischen Generatoren wieder gestartet. Die Generatoren sind ihrerseits mit den beherrschbaren Energiequellen verbunden, so daß die Windturbinen in diesem Fall mittels der beherrschbaren Energiequelle an-
5 laufen werden.
10

Der zusätzlich nutzbare Verbraucher wird mittels eines regelbaren Gleichrichters immer daran angepaßt, was das gesamte Energiesystem benötigt.

15 Obwohl ebenfalls andere aus Gleichrichter und Wechselrichter bestehende Einrichtungen mit niedrigerem Wirkungsgrad verwendbar sind, wird man vorzugsweise einen netzkommutierten Inverter für die Zufuhr der
20 Energie benutzen, die durch die variable Energiequelle des autonomen Netzes angeboten wird. In diesem Fall ist der mit dem Netz kommutierte Inverter ein Dreiphasen-Brücken-Mutator, wie in Fig. 2 wiedergegeben.

25 In Anbetracht dessen, daß die Windgeschwindigkeit im allgemeinen auch sehr kurze Schwankungen zeigt, ist es möglich, daß bei gerade ausreichender Dimensionierung des Systems die Netzfrequenz manchmal doch variiert. Man kann das auch dadurch ausgleichen, daß man als mit den
30 beherrschbaren Energiequellen verbundene Generatoren Maschinen mit einem großen Trägheitsmoment

verwendet. Diese Lösung ist in der Anlage 2 "Systembeherrschung" näher erläutert.

Vorzugsweise wird man als beherrschbare Hilfsmaschine
5 wegen der guten Regelmöglichkeiten und Zuverlässigkeit
eine oder mehrere Dieselmotoren verwenden. Wenn zu
wenig oder zu viel Energieangebot da ist, macht das Ein-
und Ausschalten dieser Maschine für den Fachmann keine
Schwierigkeiten. Eine gute Regelung ist jedoch eine
10 absolute Forderung.

Das Energiesystem nach der Erfindung kann am besten für
ein autonomes Netz, das in der Hauptsache auf Windenergie-
versorgung beruht, durch das gleichzeitige Verwenden von
15 drei Regelsystemen realisiert werden, und zwar wie folgt:

- a) eine Regelung der Drehzahl der Windturbinen, welche
verbunden ist mit an diese Windturbinen gekuppelten
elektrischen synchronen Generatoren und gesteuert
20 durch die durch den Wind an diese Turbinen abgege-
bene Leistung P_w und die Winkelgeschwindigkeit des
Rotors dieser Turbinen;
- b) eine Regelung der Frequenz des elektrischen autonomen
25 Netzes durch Steuerung des zusätzlich nutzbaren Ver-
brauchers und gesteuert von der durch den Wind an
die Turbine/n abgegebene Leistung P_w , der elektri-
schen Belastung P des autonomen Netzes und der
Frequenz dieses Netzes;
- 30 c) eine Spannungsregelung des autonomen Netzes, welche
an den synchronen Generatoren angeschlossen ist

und durch die Netzspannung selber gesteuert wird.

Vorzugsweise wird bei dem vorbeschriebenen Regelsystem die Netzspannung durch Feldstärkeregelung der zweiten
5 synchronen Generatoren konstant gehalten, soweit die gemessene Netzspannung dies fordert.

Ein Ausführungsbeispiel zur Durchführung des erfindungs-
gemäßen Verfahrens ist in der Zeichnung schematisch
10 dargestellt.

In Fig. 1 ist mit 1 eine Windturbine bezeichnet, welche z.B. mit ihrer Achse horizontal angeordnet sein kann. Diese Windturbine 1 ist über ein Getriebe 18 an einen
15 synchronen elektrischen Generator 3 gekuppelt. Ein autonomes Netz 5 kann, wenn der Wind nicht genügend Energie liefert oder wenn dies im Zusammenhang mit der Stabilität der Netzspannung und Netzfrequenz notwendig ist, auch elektrische Energie von einem synchronen
20 elektrischen Generator erhalten, der über eine Kupplung 9 durch eine Dieselmachine 7 angetrieben werden kann. Die Dieselmachine 7 kann dabei von dem zugehörigen elektrischen Generator entkuppelt werden. Wenn die Dieselmachine völlig entkuppelt ist, dreht der synchrone
25 Generator 6 weiter und sorgt dabei für die Spannungsform im autonomen Netz. Gemäß Fig. 1 bekommt eine regelbare elektrische Verbrauchsvorrichtung 2 ihre Energie mittels eines regelbaren Gleichrichters 10 zugeführt, welcher in diesem Fall im autonomen Netz 5 zwischengeschaltet ist.
30 Ein Umsetzer 8 besteht aus einem System mit einer Anzahl Gleichrichter 20 und Wechselrichter 4. In Fig. 1 ist

mittels drei kleiner Schraffierungen verdeutlicht, daß die Generatoren Drehstrom liefern und auch wo dieser Drehstrom an den Umsetzer 8 abgegeben wird. Ebenso ist das autonome Netz 5 und der regelbare Gleichrichter 10
5 verdeutlicht, welcher von der regelbaren elektrischen Verbrauchsvorrichtung 2 angeordnet ist. Im Umsetzer 8 befindet sich eine mit 19 bezeichnete Drosselspule.

Fig. 2 gibt in Details ein Regelschema an. Hierin werden
10 gleichzeitig drei Regelsysteme verwendet, und zwar:

- a) Das Feld des synchronen Generators 3 wird derartig geregelt, daß die Drehzahl der Windturbine 1 optimal ist. Dies wird erreicht durch die gleichzeitige Ver-
15 wendung einer Regelung 12 auf den elektrischen Generator 3, wobei als variable Größen die Winkelgeschwindigkeit 13 des Rotors der Windturbine 1 und die durch den Wind gelieferte Leistung P_w berücksichtigt wird. Das eine oder andere wird näher erläutert
20 im Anhang "Turbineneigenschaften";
- b) Ein Frequenzregler 14 des autonomen Netzes 5, der in diesem Fall mit dem regelbaren Gleichrichter 10 verbunden ist, der die Energie liefert, ist an die regel-
25 bare Verbrauchsvorrichtung 2 angeschlossen. Als variable Größen werden dieser Regelung 14 die Netzfrequenz 15 und die durch das Netz abgegebene Leistung P_e und die durch den Wind gelieferte Leistung P_w zugeführt. In diese Regelung werden an erster Stelle die Netz-
30 frequenz und weiter eine Differenz zwischen der durch

- den Wind gelieferten Leistung P_w und der durch das Netz abgenommenen Leistung P berücksichtigt. Wenn der Wind genügend Leistung liefert, wird an erster Stelle die durch die zusätzlich nutzbare Verbrauchsvorrichtung 2 abgenommene Leistung bis zu einem minimalen Wert verringert und bei weiterer Verringerung der Windleistung die Dieselmachine 7 gemäß Fig. 1 eingeschaltet;
- 5
- 10 c) Ein Spannungsregler 16 ist am elektrisch autonomen Netz 5 angeschlossen, wobei die gemessene Netzspannung 17 als Parameter zugeführt wird und welche an die Wicklungen des elektrischen Generators 6 angeschlossen ist. Die Regelung wirkt durch eine mehr
- 15 oder weniger große Feldstärkesteuerung dieses Generators 6.

Der Umsetzer 8 aus Fig. 1 wird in Fig. 2 in ausführlicherer Form wiedergegeben. Der Gleichrichter 20 aus Fig. 1 ist in

20 Fig. 2 durch 21 wiedergegeben, während der Wechselrichter durch 22 wiedergegeben wird. Hier wird auf diese Weise ein Dreiphasen-Brücken-Mutator dargestellt. Um das Reaktivvermögen des Mutators 22 zu beschränken, ist es möglich, einen Durchlaßregelungsthyristor zu verwenden.

25

Die Verwendung des schon erwähnten netzkommutierten Umsetzers 8 ist ein wesentlicher Teil des neuen Systems. Die Gleichstromschaltung macht das System sehr flexibel. Die Rotorgeschwindigkeit der Windturbine wird dabei unab-

30 hängig von der Netzfrequenz gewählt, derart, daß diese immer eine maximale Menge Energie liefert. Mehrere

Windturbinen oder andere variable Energiequellen
können parallel in dasselbe Energiesystem geschaltet
werden, wobei jede Windturbine - wenn gewünscht -
gesondert regelbar ist. Vorzugsweise sind die Energie-
5 quellen im Gleichstromteil parallel geschaltet.

Anlage 1

Turbineneigenschaften

5

Es ist bekannt, daß im allgemeinen die Wingschwindigkeit sehr schnell wechseln kann. Hierbei entstehen sowohl Schwankungen in sehr kurzer Zeit als auch über eine längere Dauer. Diese Schwankungen können mittels der
10 sehr schnellen Regeleigenschaften des Systems aufgefangen werden.

Die allgemeine Formel für die durch die Achse der Windturbine abgegebene Leistung ist:

15

$$P_w = C_p \frac{1}{2} \pi R^2 \rho v^3, \quad (a)$$

worin v : die Windgeschwindigkeit,

R : den Rotordurchmesser,

20 ρ : die Luftdichte und

C_p : den Arbeitskoeffizienten, abhängig von der Umlaufgeschwindigkeit und dem Typ der Windturbine, bedeuten.

25 Dabei ist $\lambda = \frac{\omega R}{v}$ und darin

ω die Winkelgeschwindigkeit der Windturbine.

In Fig. 3 ist ein Beispiel einer Kurve des Koeffizienten C als Funktion der Umlaufgeschwindigkeit λ für eine zwei-
30 flügelige Windturbine mit horizontaler Achse angegeben.

Aus dieser Figur zeigt sich, daß λ optimal ist, wenn C_p einen Wert von 0,46 hat. Andere Turbinen können andere Kurven ergeben. Das allgemeine Bild bleibt jedoch ungefähr gleich. Allgemein gilt nach Formel (a), daß zur Gewinnung einer maximalen Energiemenge aus dem Wind C_p maximal sein muß. Es zeigt sich, daß der λ -Wert eine bestimmte Größe zu sein scheint, wobei dies der Fall ist.

Aus Fig. 3 zeigt sich, daß die Leistung, die aus dem Wind geholt werden kann, bei niedrigen Werten von λ klein ist. Dies bedeutet, daß der Wind bei niedrigen Rotorgeschwindigkeiten einen zu kleinen Anteil liefern kann, um die Verluste im gesamten Energiesystem kompensieren zu können. Hierdurch ist das Starten der Windturbine ausschließlich durch den Wind nicht immer möglich. Um das Starten zu ermöglichen, wird der erste synchrone Generator 3 als Asynchronmotor benutzt. Dieser wird gespeist über eine Drehstromverbindung mit dem zweiten Generator 6, der durch das Hilfsaggregat 7 (Dieselmotor) angetrieben wird.

Aus Formel (a) zeigt sich, daß die abgegebene Menge Energie P_w der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit entspricht und deshalb in Anbetracht der großen Schwankungen davon noch viel stärker betroffen ist. Die Schwankungen von P_w können, wenn es sich um sehr kurze Zeit handelt, durch einen synchronen Generator 6 mit einer großen Trägheitsmoment J aufgefangen werden, was in der folgenden Anlage "Systembeherrschung" besprochen werden soll.

Anlage 2

Systembeherrschung

5

Die Leistungsbilanz des Systems - wie in den Fig. 1 und 2 wiedergegeben - wird bei Benutzung einer Dieselmachine 7 gegeben durch:

$$10 \quad P_{\text{diesel}} + P_{\text{aut}} = P_e + P_\ell + P_v + J\omega' \frac{d\omega'}{dt}, \quad (b)$$

worin

P_{diesel} die Leistung durch die Dieselmachine 7;

15 P_{aut} die Leistung durch den Wind an das autonome Netz 5,

P_ℓ die Leistung, die das autonome Netz 5 aufnimmt,

P_v den Leistungsverlust im synchronen Generator 6,

P_e die Leistung für den zusätzlich nutzbaren

20 Verbraucher 2 durch Heißwassererzeugung,

Elektrolyse von Wasser und dergleichen,

J Trägheitsmoment des synchronen Generators 6,

ω' Winkelgeschwindigkeit des synchronen Generators 6 in rad/s,

25 $(\omega'$ eine andere Winkelgeschwindigkeit als die, die sich auf die Windturbine 1 bezieht)

bedeuten.

Wenn:

30

$$P_{\text{aut}} > P_v + P_\ell,$$

kann im Prinzip die Dieselmachine 7 ausgeschaltet werden. In diesem Fall ist $P_{\text{diesel}} = 0$. Der Wind ist jetzt die einzige Energiequelle für das autonome Netz 5. Der synchrone Generator 6 bleibt jedoch ein
5 wesentliches Teil des ganzen Energiesystems.

- Der synchrone Generator 6 übernimmt jetzt die Kommutation von Wechselrichter 22 für seine Rechnung und bestimmt die Spannungsform des Dreiphasennetzes 5.
- 10 Die Reaktivleistung, gewünscht durch die Netzbelastung P_L und die Wechselrichter 22, wird durch den synchronen Generator 6 geliefert. Die Netzspannung kann auf konstantem Wert bleiben, indem die Feldregelung des zweiten synchronen Generators eingestellt wird. Den
15 Überschuß an Windenergie, welcher nicht auf andere Weise für die Netzbelastung P_L oder für den Verlust P_V im synchronen Generator 6 benötigt wird, leitet man in Richtung des zusätzlich nutzbaren Verbrauchers P_e .
- 20 Wenn ein großes Angebot an Windenergie verfügbar ist, zeigt sich aus der Formel (b), daß mit Hilfe des zusätzlich nutzbaren Verbrauchers P_e die Möglichkeit besteht, den Leistungsstrom zum Netz 5 zu beherrschen. Die Drehgeschwindigkeit des synchronen Generators 6, welche die
25 Frequenz des autonomen Netzes bestimmt, wird dadurch beeinflußt.

Angesichts der manchmal besonders schnellen Schwankungen im Angebot der Windenergie ist es nützlich, diese
30 Schwankungen sowie Schwankungen durch verschiedene

Netzbelastung P_L soviel wie möglich mittels eines großen Trägheitsmoments J des synchronen Generators 6 auszugleichen. Die rotierende Masse des Generators 6 ist in diesem Fall imstande, eine bestimmte Menge Energie zu
5 speichern oder zu liefern. Sobald die Menge der gespeicherten Energie dabei zu groß oder zu klein wird, wird mehr bzw. weniger Energie an den zusätzlich nutzbaren Verbraucher P_e zugeführt.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum optimalen Benutzen mindestens einer variablen, schwer beherrschbaren Energiequelle durch Verwendung eines Energiesystems, das neben der Energiequelle einen oder mehrere damit gekuppelte synchrone Wechselstromgeneratoren benutzt, welche mit einem Gleichrichter, einem Wechselrichter und mit einem daran angeschlossenen autonomen Wechselstromnetz verbunden sind, wobei das Wechselstromnetz elektrisch fest mit einem zweiten synchronen Wechselstromgenerator verbunden ist, der mechanisch mit einer beherrschbaren Hilfsmaschine entkoppelbar verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Energiesystem eine solche Energiemenge entnommen wird, daß die Frequenz des Netzes konstant bleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als variable Energiequelle mindestens eine Windturbine verwendet wird.
3. An einem autonomen Wechselstromnetz angeschlossene Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, im wesentlichen bestehend aus einem ersten Wechselstromgenerator, der an einem Gleichrichter und einem Wechselrichter gekuppelt ist, wobei der Wechselrichter das Netz speist und ein zweiter synchroner Generator elektrisch fest mit dem Netz verbunden und mechanisch mit einer beherrschbaren Hilfsmaschine entkoppelbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage (1, 18, 3, 20, 19, 4, 6, 5) einen zusätzlich nutzbaren elektrischen Verbraucher (2) aufweist, welcher über eine Regelvorrichtung (10, 14) elektrisch mit der Anlage verbunden ist.

4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste synchrone Generator (3) Teil einer Windturbine (1, 18, 3) ist.
- 5 5. Anlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zusätzlich nutzbare Verbraucher (2) mit dem autonomen Netz (5) verbunden ist.
- 10 6. Anlage nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zusätzlich nutzbare Verbraucher (2) mit dem Gleichstromteil zwischen dem Gleichrichter (20) und dem Wechselrichter (4) verbunden ist.
- 15 7. Anlage nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zusätzlich nutzbare Verbraucher (2) mit dem Wechselstromteil zwischen dem ersten Generator (3) und dem Gleichrichter (20) geschaltet ist.
- 20 8. Anlage nach den Ansprüchen 3, 4 und 5 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß dem zusätzlich nutzbaren Verbraucher (2) ein regelbarer Gleichrichter (10) vorgeschaltet ist.
- 25 9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die abzuleitende Energie für die Heißwasserbereitung, die Elektrolyse von Wasser, kombiniert mit der Benutzung von Brennstoffzellen, oder für das Aufladen von Batterien oder das Hochpumpen von Wasser benutzt wird.
- 30 10. Anlage nach den Ansprüchen 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Wechselrichter (4) ein Dreiphasen-Brücken-Mutator (11, 22) ist.

11. Anlage nach den Ansprüchen 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß jeder synchrone Generator (6) ein großes Trägheitsmoment hat.
- 5 12. Anlage nach den Ansprüchen 3 bis 8, 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die leicht beherrschbare Hilfsmaschine eine entkuppelbare Dieselmachine (7) ist.
- 10 13. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 2 und 9, wobei mindestens eine Windturbine Energie an ein autonomes elektrisches Netz sowie an einen zusätzlich nutzbaren Verbraucher liefert, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig drei Regelsysteme verwendet werden können, und zwar:
- 15 a) eine Regelung der Drehzahl (12) der Windturbinen (1), welche verbunden ist mit an diese Windturbinen gekuppelten elektrischen synchronen Generatoren (3) und gesteuert durch die durch den Wind an diese Turbinen (1) abgegebene Leistung P_w und die Winkelgeschwindigkeit des Rotors dieser Turbinen (13);
- 20 b) eine Regelung der Frequenz des elektrischen autonomen Netzes (5) durch Steuerung des zusätzlich nutzbaren Verbrauchers (2) und gesteuert von der durch den Wind an die Turbine/n abgegebenen Leistung P_w , der elektrischen Belastung P des autonomen Netzes (5) und der Frequenz dieses Netzes;
- 25 c) eine Spannungsregelung (16) des autonomen elektrischen Netzes (5), welche an den synchronen Generatoren (6) im autonomen Netz (5) angeschlossen ist und durch die Netzspannung (7) selber gesteuert wird.
- 30

14. Anlage nach einem der Ansprüche 3 bis 8 und 10 bis 12, gekennzeichnet durch Mittel, um die Netzspannung durch die Feldsteuerung der synchronen Generatoren (6) konstant zu halten.

1/2

FIG. 1

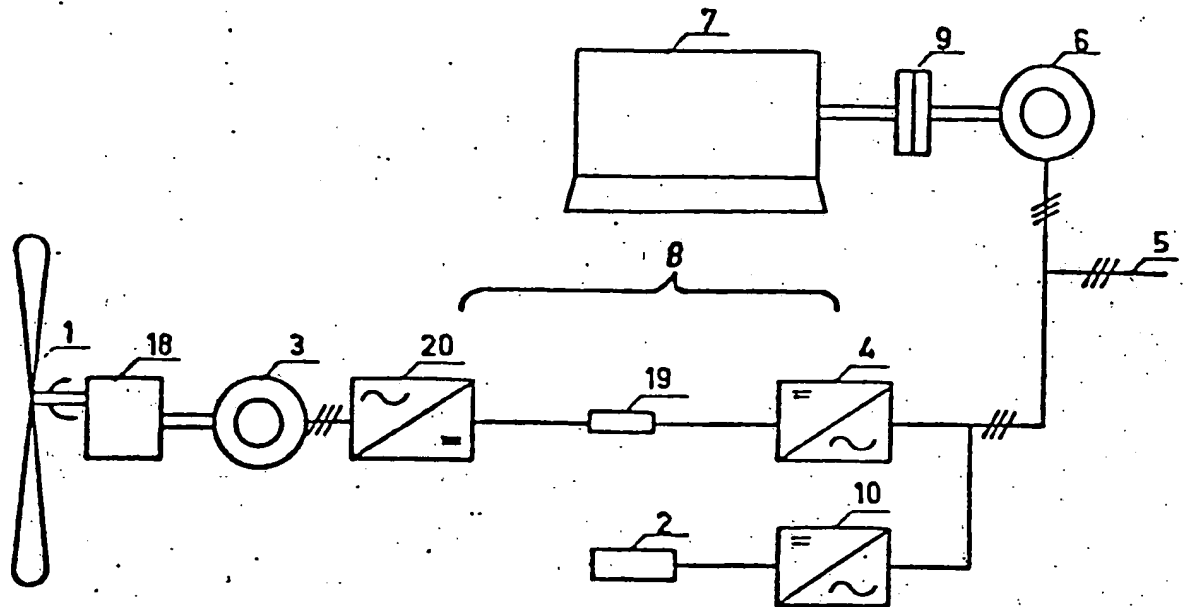
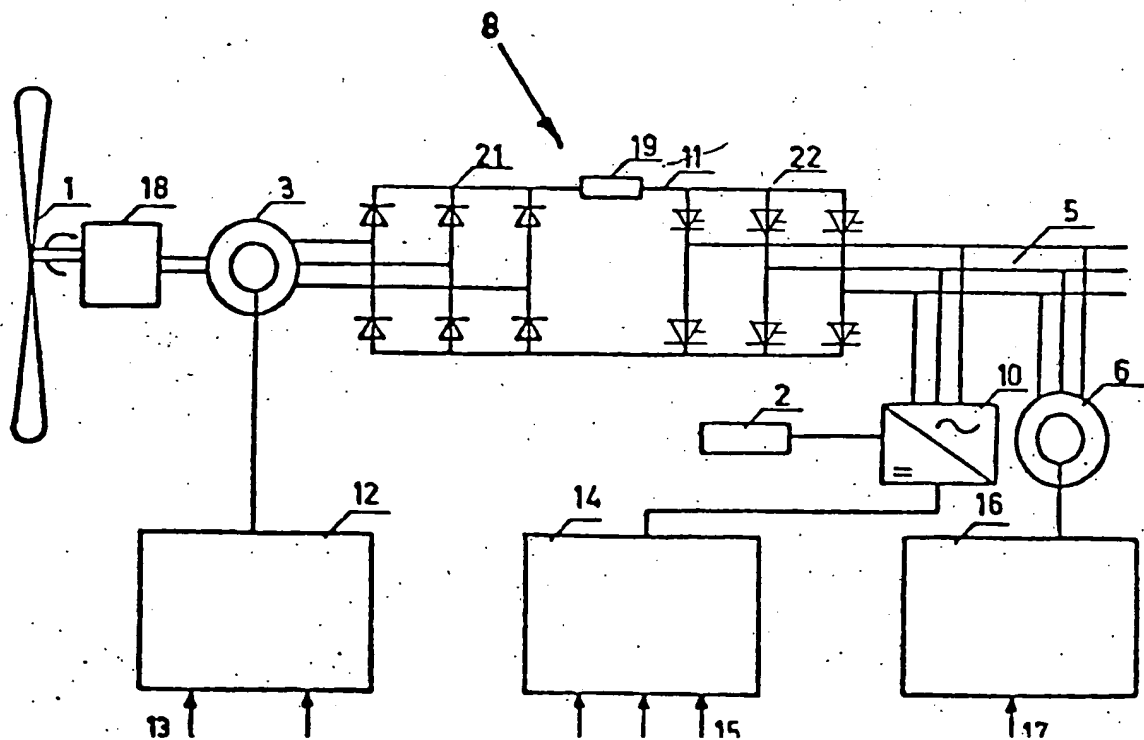


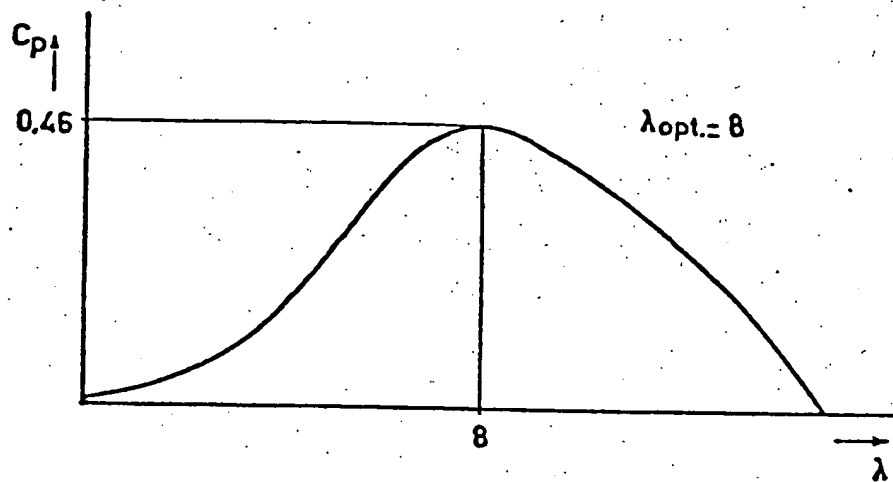
FIG. 2



2/2

0046530

FIG. 3





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0046530

Nummer der Anmeldung

EP 81 10 6185

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
	<p>GB - A - 2 006 998 (R.J.A. EVANS et al.)</p> <p>* Seite 1, Zeilen 5-47; Seite 2, Zeilen 18-55; Figuren 1,2 *</p> <p>--</p> <p>JOURNAL A., Band 20, Nr. 3, Juli 1979, Seiten 151-159 Antwerpen, BE. A.J.T.M. KOENRAADS et al.: "Some aspects of the Dutch National Research Programme for Wind Energy"</p> <p>* Seite 156, linke Spalte, Zeile 25 - rechte Spalte, Zeile 35; Seite 158, Absatz "10. Controllers in the system"; Figuren 9,10 *</p> <p>--</p> <p>DE - B - 1 281 027 (LICENTIA)</p> <p>* Spalte 1, Zeilen 1-7; Spalte 4, Zeile 45 - Spalte 5, Zeile 11; Figur 1 *</p> <p>D. & NL - A - 67 08733</p> <p>----</p>	<p>1-3,7, 9,13</p> <p>2,4,13</p> <p>12-14</p>	<p>H 02 J 3/38 H 02 P 9/42 F 03 D 9/00</p> <p>RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.)</p> <p>H 02 J 3/38 H 02 P 9/42 F 03 D 9/00 H 02 J 3/14 H 02 K 19/14</p> <p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	